

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-16056

(P2002-16056A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/31		H 0 1 L 21/31	C 5 F 0 4 5
21/205		21/205	

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2000-196619(P2000-196619)

(22) 出願日 平成12年6月29日(2000.6.29)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年3月28日～
 31日 社団法人応用物理学会主催の「2000年(平成12
 年)春季第47回応用物理学関係連合講演会」において文
 書をもって発表

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(71) 出願人 000227294

アネルバ株式会社

東京都府中市四谷5丁目8番1号

(72) 発明者 湯田 克久

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
 式会社内

(74) 代理人 100071272

弁理士 後藤 洋介 (外1名)

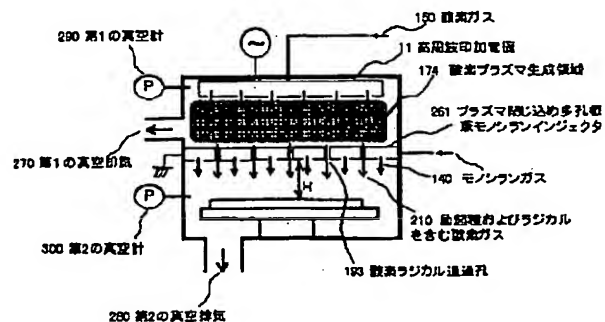
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リモートプラズマCVD装置及び膜形成方法

(57) 【要約】

【課題】 リモートプラズマCVD成膜において、プラ
 ズマ分解を意図しないガスをプラズマ生成領域に逆流さ
 せないようにする。

【解決手段】 第1のガスをプラズマ生成領域に供給
 し、第1のガスの励起ガスと非励起ガスをプラズマ外の
 成膜領域で導入される第2のガスと反応させて成膜を行
 う際、第2のガスをプラズマ生成領域に逆流させないた
 めの多孔板をプラズマ生成領域と第2のガスの供給部と
 の間に配置する。また、多孔板の配置によってプラズマ
 生成領域の圧力設定の自由度が低くなるのを解決するた
 め、多孔板を境にしてプラズマ生成領域側及び成膜領域
 側にそれぞれ独立した圧力調整機構を備えるようにして
 もよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1のガスのプラズマを形成するプラズマ生成領域が備えられ、前記プラズマ生成領域の外に被堆積基板を設置する基板保持機構と、前記プラズマ生成領域と前記被堆積基板との間で第2のガスを供給する供給手段とを有するプラズマCVD装置において、前記プラズマ生成領域と前記供給手段との間には複数の貫通孔が形成された多孔板が配置されており、前記貫通孔の開口率が5%以下であることを特徴とするプラズマCVD装置。

【請求項2】 前記多孔板はプラズマCVD装置チャンバ内壁との間に隙間を有することなく配置されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマCVD装置。

【請求項3】 前記多孔板の各貫通孔の直径は3mm以下であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマCVD装置。

【請求項4】 前記多孔板の貫通孔同士の間隔は、前記多孔板と前記被堆積基板との距離以下であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のプラズマCVD装置。

【請求項5】 前記プラズマ生成領域は、電気的に接地された金属製プラズマ閉じ込め電極で仕切られていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のプラズマCVD装置。

【請求項6】 前記多孔板が、電気的に接地された金属製プラズマ閉じ込め電極となっていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のプラズマCVD装置。

【請求項7】 前記多孔板には前記貫通孔と独立した中空部が形成されるとともに前記中空部に連通して前記被堆積基板に向かって開口された噴射孔が形成されており、前記噴射孔から前記第2のガスを供給することを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のプラズマCVD装置。

【請求項8】 前記多孔板を境界とする前記プラズマ生成領域側の領域と前記多孔板を境界とする前記被堆積基板側の領域とはそれぞれ独立した圧力調整機構が配置されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のプラズマCVD装置。

【請求項9】 前記第1のガスを酸素原子を含むガスとし、前記第2のガスをシリコン原子及び水素原子を含むガスとして、請求項1乃至8のいずれかに記載のプラズマCVD装置を用いて前記被堆積基板上に酸化シリコン膜を形成するようにしたことを特徴とする膜形成方法。

【請求項10】 請求項1乃至8のいずれかに記載のプラズマCVD装置を用い、前記多孔板を境界とする前記被堆積基板側の領域よりも前記多孔板を境界とする前記プラズマ生成領域側の方がその圧力が高い状態で、前記被堆積基板上に成膜処理を行うようにしたことを特徴とする膜形成方法。

【請求項11】 前記第1のガスを酸素原子を含むガスとし、前記第2のガスをシリコン原子及び水素原子を含むガスとしたことを特徴とする請求項10に記載の膜形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマCVD装置及びこれを用いた膜形成方法に関し、特に、プラズマ生成領域と基板処理領域を分離または隔離するプラズマCVDの成膜装置及び成膜方法に関し、プラズマ分解を意図しないガスをプラズマ生成領域に逆流させないようにした装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、プラズマダメージを抑制しながら基板への膜形成を行うプラズマCVD装置の1つに、プラズマ生成領域と基板処理領域を隔離するリモートプラズマCVD装置があり、これを用いたCVD膜形成は、半導体デバイスプロセスにおいて高信頼性デバイスや高性能デバイスが作製可能な処理プロセスとして重要な技術となっている。

【0003】大面積フラットパネルディスプレイのスイッチングトランジスタ形成プロセス、駆動回路トランジスタ形成プロセス、及び大口径シリコンウエハプロセス等の大型基板に対応できるリモートプラズマCVD装置として、例えば、特開昭53-91665号公報に記載された平行平板リモートプラズマCVD装置が知られている。

【0004】ここで、図12を参照して、従来の平行平板リモートプラズマCVD装置について説明する。

【0005】図示の平行平板プラズマCVD装置では、基板30が設置される基板サセプタ20と高周波印加電極10との間に、複数の貫通孔（ラジカル通過孔）50が開口されたプラズマ閉じ込め電極80が設置されている。そして、このプラズマ閉じ込め電極80と高周波印加電極10との間で第1のガス100のプラズマ60を閉じこめている。

【0006】このように、図示の平行平板プラズマCVD装置では、平行平板で発生させた大面積均一なプラズマを用いるため、基板処理に必要なラジカルが大面積均一に行える。さらに、この平行平板プラズマCVD装置では、プラズマ分解しない第2のガスを電極面に均一に分布した中性ガス噴射孔90から供給しており、このため、拡散したラジカルとの反応による成膜処理を大面積均一に行うこともできる。

【0007】図12に示す平行平板リモートプラズマCVD装置において、基板30上に、例えば、酸化シリコン膜を形成する例について説明する。ここでは、第1のガスとして酸素ガスをプラズマ生成領域に供給し、高周波印加電極10に高周波電力を印加して酸素プラズマを生成する。この酸素プラズマはプラズマ閉じ込め電極8

0によって高周波印加電極10との間に閉じ込められるため、ラジカル通過孔50を通して成膜領域へ供給されるのは、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素原子、酸素分子、及びオゾンであり、酸素イオンや電子はほとんど供給されない。

【0008】一方、第2のガスであるモノシランガスが中空構造であるプラズマ閉じ込め電極80内に供給され、プラズマ閉じ込め電極の基板側の面に開口された中性ガス噴射孔90からモノシランガスが供給される。プラズマ閉じ込め電極80と基板30との間において、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素原子、酸素分子、及びオゾンとモノシランガスとの気相反応が起こり、 SiH_x 、 SiH_xO_y 、 SiO_y 等の酸化シリコン前駆体が生成され、これらが基板上に付着し、さらに、基板上成長表面での酸化反応や熱解離等を経て基板上に酸化シリコン膜が成膜される。

【0009】ここでは、ラジカル通過孔50及び中性ガス噴射孔90がプラズマ閉じ込め電極80上で面内均一に分布しているため、それぞれの孔から供給されるガスのフラックスの面内分布が均一になりやすい。従って、上述の気相反応も基板上空間で面内均一に起こり、酸化シリコン前駆体の基板上面内分布も均一となる。その結果、基板上に形成される酸化シリコン膜の膜質分布も面内均一となる。

【0010】このように、プラズマダメージを抑制しながら基板面内均一性に優れた薄膜を形成することができる平行平板リモートプラズマCVDは、大型ガラス基板上薄膜トランジスタのゲート絶縁膜となる酸化シリコン膜や窒化シリコン膜、同様に、大型ガラス基板上薄膜トランジスタの活性層やゲート電極となる非晶質シリコン膜、さらに、大型Si基板上トランジスタ素子の層間絶縁膜となる酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などを成膜する手法として有望視されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、リモートプラズマCVD技術のもう一つの特徴は、プラズマ分解するガスとプラズマ分解しないガスとに分けて材料ガスの供給ができることである。

【0012】例えば、前述した酸素/モノシラン系CVDによる酸化シリコン形成の場合、モノシランをプラズマ分解してしまうと水素原子や水素分子が過剰に生成されてしまい、酸化シリコン膜中に多量のHやOHを含んでしまうという問題が生ずる。しかしながら、前述したようにリモートプラズマCVDでは、酸素ガスのみをプラズマ分解して活性な酸素原子や酸素励起種を生成し、これと中性のモノシランを反応させることで成膜を行うことができるため、水素原子や水素分子の過剰生成を抑え、かつ、酸素原子や酸素励起種等による酸化力の強い雰囲気中で気相反応を生じさせることができる。

【0013】従って、HやOHの含有量が少なく、化学

量論的組成に近い高品質の二酸化シリコン膜を形成することができる。

【0014】上述のリモートプラズマCVDの特徴を活かすためには、モノシランがプラズマ領域へ侵入するのを防止又は抑制する装置（機構）を開発する必要がある。つまり、図12に示す平行平板リモートプラズマCVD装置において、モノシランガスがプラズマ分解されるのを最小限に抑えるには、図13中に矢印で示すようなモノシランガスのプラズマ生成領域（プラズマ60）への逆流を抑える必要がある。即ち、プラズマ閉じ込め電極80とチャンバ壁70の隙間を逆流するモノシラン130や、ラジカル通過孔50を逆流するモノシラン131の量をでき得る限り抑えることが重要である。

【0015】このような装置例として、ラジカル通過孔の開口部の面積の総和 S_2 と、プラズマ閉じ込め電極領域におけるガスの通過する面積 S_1 の関係を $0.8 \leq S_2/S_1 \leq 1$ とした装置が、例えば、特開平8-45858号公報に記載されている。 $S_2/S_1 = 1$ では、図14に示すように、プラズマ閉じ込め電極（メッシュプレート）81とチャンバ壁70との隙間がないことを意味しており、逆流するモノシラン132がプラズマ閉じ込め電極81とチャンバ壁70の間から酸素プラズマ生成領域170中へ逆流してプラズマ分解されることはない。

【0016】しかしながら、特開平8-45858号公報に記載された手法では、プラズマ閉じ込め電極81に開口されたラジカル通過孔51を通して酸素プラズマ生成領域170中へ逆流するモノシラン133については考慮されておらず、依然としてモノシランがプラズマ分解されるという問題点がある。

【0017】本発明の目的は、プラズマ分解を意図しないガスをプラズマ生成領域に逆流させないリモートプラズマCVD装置及びリモートプラズマCVD成膜法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため本発明は、第1のガスのプラズマを形成するプラズマ生成領域と、プラズマ生成領域外で被堆積基板を設置する基板保持機構を有し、かつプラズマ生成領域と被堆積基板の間で第2のガスを供給する手段を有するプラズマCVD装置において、プラズマ生成領域と第2のガスを供給する手段の間に複数の貫通孔が開口された多孔板が配置されており、前記貫通孔の開口率が5%以下であることを特徴としている。

【0019】貫通孔の開口率を5%以下に制限することで、供給された第2のガス（モノシラン等）が第1のガスのプラズマ（酸素プラズマなど）に逆流することが防止または抑制され、プラズマ分解される第2のガスの量を防止または抑制することができる。

【0020】また、本発明におけるプラズマCVD装置

は、前記多孔板がプラズマCVD装置チャンバ内壁との間に隙間を持たずに設置されていることを特徴としている。貫通孔の開口率を5%以下とし、かつチャンバ内壁と多孔板の間に隙間を持たせないことで、貫通孔を経由する第2のガスのプラズマ生成領域への逆流の防止または抑制だけでなく、チャンバ内壁と多孔板の間の隙間を経由する第2のガスのプラズマ生成領域への逆流をも防止することができる。

【0021】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記多孔板の各貫通孔の直径が3mm以下であることを特徴としている。前記多孔板において、板内全体の開口率だけでなく貫通孔一つ一つの直径を制限することにより、貫通孔内のコンダクタンスを低くすることができる。コンダクタンスが低ければ、前記多孔板のガス供給側と被処理基板側の圧力差が大きくなり、圧力の低い領域で供給される第2のガスが圧力の高いプラズマ生成領域側へ逆流するのを防止または抑制することができる。

【0022】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記多孔板の貫通孔同士の間隔が、貫通孔の中心を基準としたときに、前記多孔板と被堆積基板との距離以下であることを特徴としている。本発明において、第2ガスのプラズマ生成領域への逆流を防止または抑制するために前記多孔板の開口率や開口径を制限しているが、貫通孔の間隔が開きすぎると、多孔板を通過した第1のガス（ラジカル、励起種を含む）の被堆積基板上面内分布が貫通孔に対応した分布を持ってしまう。これを防ぐためには、孔同士の間隔を多孔板と被堆積基板の距離以下にする必要がある。これにより、多孔板を通った第1のガスの面内分布を犠牲にせずに、第2のガスがプラズマ生成領域側へ逆流するのを防止または抑制することができる。

【0023】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記プラズマ生成領域が、電氣的に接地された金属製プラズマ閉じ込め電極で仕切られていることを特徴としている。プラズマを閉じ込めるための接地された金属製プラズマ閉じ込め電極でプラズマを閉じ込めることにより、プラズマ生成領域と被堆積基板の間に存在する荷電粒子の数を無視できる程度に抑えることが出来る。したがって、多孔板とプラズマ生成領域の間にはプラズマが存在せず、多孔板を通して逆流する第2のガスがわずかに存在したとしても、多孔板とプラズマ生成領域の間ではプラズマ分解されることが無い。

【0024】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記多孔板自身が、電氣的に接地された金属製プラズマ閉じ込め電極となっていることを特徴としている。前述の接地された金属製プラズマ閉じ込め電極の機能を前記多孔板が兼ねることにより、第2のガスがプラズマ生成領域に逆流しづらい構造であっても、装置構造が複雑化するのを避けることができる。

【0025】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記多孔板が前記貫通孔と独立した中空部を有しており、前記中空部は被堆積基板に向かって開口された噴射孔を有しており、前記噴射孔から第2のガスを供給することを特徴としている。第2ガス供給の機能を前記多孔板が兼ねることにより、第2のガスがプラズマ生成領域に逆流しづらい構造であっても、装置構造が複雑化するのを避けることができる。また、多孔板が第2ガス供給の機能および接地された金属製プラズマ閉じ込め電極の機能の両方を兼ねていれば、さらに装置構造は単純化する。

【0026】また、本発明におけるプラズマCVD装置は、前記多孔板を境とするプラズマ生成領域側と、多孔板を境とする被堆積基板側の領域とは、それぞれ独立した圧力調整機構が具備されていることを特徴としている。前記多孔板の開口率および貫通孔の径を制限し、さらに前記多孔板とチャンバ内壁との隙間を無くすことによって、前記多孔板を境に（被堆積基板側の圧力）＜（プラズマ生成領域側の圧力）の関係を持つ圧力差が生じやすくなる。しかし、プラズマ生成領域の圧力が過剰に高くなると、生成した励起酸素や酸素原子が消滅し易くなり、第2ガス供給領域に十分な量の励起酸素や酸素原子を供給できなくなってしまう。本発明のように、前記多孔板を境とするプラズマ生成領域側と、多孔板を境とする被堆積基板側の領域とは、それぞれ独立した圧力調整機構が設けられていれば、それぞれの領域を所望の圧力に設定することができる。

【0027】また、本発明における膜形成方法は、第1のガスを酸素原子を含むガスとし、第2のガスをシリコン原子および水素原子を含むガスとして、上記に記載の多孔板を有するプラズマCVD装置を用いて被処理基板上に酸化シリコン膜の形成を行うことを特徴としている。シリコン原子および水素原子を含むガスがプラズマ生成領域へ逆流するのを防止または抑制できるため、形成される酸化シリコン膜に含まれるHまたはOHの量を低く抑えることができる。

【0028】また、本発明における膜形成方法は、上記に記載のプラズマCVD装置を用い、多孔板を境とする被処理基板側の領域よりも多孔板を境とするプラズマ生成領域側の方が圧力が高い状態で、被処理基板上に成膜処理を行うことを特徴としている。また、この膜形成方法において、第1のガスを酸素原子を含むガス、第2のガスをシリコン原子および水素原子を含むガスとすることを特徴としている。シリコン原子および水素原子を含むガスがプラズマ生成領域へ逆流するのを防止できるプラズマCVD装置において、プラズマ生成領域の過剰な圧力上昇を防ぐことができるため、十分な量の酸素励起種および酸素原子の供給下でシリコン原子および水素原子を含むガスとの気相反応を行うことができるため、高品質の酸化シリコン膜を形成することができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下本発明について実施の形態に基づいて説明する。ここでは、酸素とモノシランの反応を用いるリモートプラズマCVDによる酸化シリコン膜形成を例として説明する。

【0030】図1に示すリモートプラズマCVD装置は、真空排気可能な真空チャンバを備えており、この真空チャンバ内には、酸素プラズマ生成領域170が規定される。さらに、真空チャンバ内には、基板30が設置される基板サセプタ20、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190を有する多孔板220、リング状モノシランインジェクタ200が備えられている。

【0031】図示のように、多孔板220は、リング状モノシランインジェクタ200と酸素プラズマ生成領域170との間に位置しており、チャンバ内壁70と多孔板220との間に隙間はない。

【0032】図1に示すリモートプラズマCVD装置では、プラズマの生成手法として、高周波パワーが印加可能なアンテナ230を誘電体窓240上に設置した誘導結合放電を用いている（なお、誘導結合放電の代わりに、例えば、容量結合による放電、マイクロ波放電等の手法を用いてもよく、使用する放電手法に応じてプラズマ生成領域周辺に適切な放電機構が備えられることになる）。

【0033】図1に示す例では、プラズマ生成領域170が基板30から空間的に十分離れており、プラズマ生成領域170におけるイオン密度及び電子密度は、プラズマ生成領域から基板に向かって急激に減少するため、基板30付近でのイオンや電子の密度は無視できる程度である。

【0034】ここで、図2に多孔板220の平面図を示す。多孔板220には、プラズマ生成領域170で生成された酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾンを基板側へ通過させるための酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190が面内に多数開口されている。貫通孔190の分布は、図2に示すような面内均一な開口手法に限らず、中心部の開口率が高い分布、周辺部の開口率が高い分布等、どのような分布でもよい。

【0035】図2に示す多孔板220において、開口部の開口率は5%以下となっており、このため、リング状モノシランインジェクタ200から供給されたモノシランガス140が酸素プラズマ生成領域170へ侵入するのを多孔板220が防止又は抑制することになる。

【0036】例えば、多孔板220が400mm×500mmの大きさで、多孔板に100個の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190を設けたとすると、その開口部の直径が11mm程度で開口率5%となる。

【0037】いま、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190が直径11mm、長さ20mmの円筒形であって、流量1SLMの酸素ガスをプラズマ生成領域に供給し、基

板30が設置されている成膜領域の圧力が30Paになるように真空排気制御をした際、多孔板220を境に酸素プラズマ生成領域170側の圧力は35Pa程度になる。

【0038】このように、多孔板220を境界にプラズマ生成領域側よりも成膜領域側の方が圧力が低くなるため、成膜領域側で供給されるモノシランガス140が酸素ラジカル通過孔190を通過して酸素プラズマ生成領域170に侵入することが防止又は抑制できる。

【0039】なお、前述したように、多孔板220はチャンバ内壁との間に隙間を有しないから、モノシランガス140がプラズマ領域側へ逆流する経路は酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190のみであり、この孔の開口率を上述のように制限することが重要である。

【0040】モノシランガス140がプラズマ生成領域に逆流する可能性をより低くするためには、酸素ラジカル通過孔190の直径Rを小さくすればよく、3mm以下程度にすれば効果的である。酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190が100個開口された図2に示す多孔板220において、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190の直径が2mm、長さが10mmの場合、上記の例と同様に、流量1SLMの酸素ガスをプラズマ生成領域に供給し、成膜領域の圧力が30Paになるように真空排気制御をした際、多孔板220を境に酸素プラズマ生成領域170側の圧力は58Pa程度になる。

【0041】このように、酸素ラジカル通過孔の長さが一定の時、孔の径を小さく制限すれば、多孔板を境界にしてプラズマ領域側と成膜領域側との圧力差を大きくすることができ、モノシランガスのプラズマ領域側への逆流をより効果的に抑えることができる。

【0042】なお、多孔板220の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190の開口率や開口径を制限した際に、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）同士の間隔が離れすぎると、多孔板220を通過した励起種及びラジカルを含む酸素ガス210の基板付近での面内分布が、図3に示すように貫通孔に対応した分布を持ってしまう。これは、図2に示す貫通孔同士の距離D、D'及びD''が、図1中に示す多孔板220と基板30との距離Hより長い場合、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190から基板に向かって供給される励起種及びラジカルを含む酸素ガス210が横方向の十分な拡散が行われる前に基板に到達してしまうからである。

【0043】モノシランガスが供給されている雰囲気は励起種及びラジカルを含む酸素ガス210が供給された場合には、 SiO_2 、 H_2 、 SiH_4 、 SiO_x 等の酸化シリコン前駆体の横方向拡散が十分に起こる前に基板に到達してしまうため、基板上に形成される酸化シリコン膜の基板面内分布も、図3に示すようなプロファイルとなってしまふ。これを防ぐためには、前記距離D、D'及びD''を、前記距離H以下にする必要がある。前記距

離D、D'及びD''が短ければ短いほど励起種及びラジカルを含む酸素ガス210の分布は均一になるが、短すぎると酸素ラジカル通過孔（貫通孔）の開口率が大きくなってしまふため、距離D、D'及びD''は、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）の開口率及び開口径を考慮して設定する必要がある。

【0044】次に、酸化シリコン膜の形成について説明する。ここでは、開口径2mmで長さ10mmの円筒形酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190が100個開口された400mm×500mmの多孔板220を用いた例について説明する。貫通孔同士の距離は、図2に示すDに相当する距離が約46mm、D''に相当する距離が約36mm、D'に相当する距離が約58mmである。

【0045】まず、真空排気されたCVDチャンパー内に1SLMの流量で酸素ガス150を導入し、基板30付近の圧力が30Paになるように排気能力を制御する。前述の多孔板220を用いた結果、多孔板220を境にプラズマ生成領域側の圧力は58Paとなっており、基板30の位置する成膜領域の約2倍の圧力となっている。

【0046】次に、アンテナ230に高周波電力を印加して酸素プラズマを形成する。酸素プラズマ生成領域170は基板30から十分離れた距離にあり、かつ、開口径の小さい酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190を有する多孔板220が基板30と酸素プラズマ生成領域170の間に位置しているため、酸素プラズマ生成領域170中でのプラズマ密度が $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度であるのに対し、多孔板220と基板30との間の領域のプラズマ密度は 10^8 cm^{-3} 以下となっている。即ち、酸素プラズマ生成領域170中では電子、酸素原子イオン、酸素分子イオン、酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾン等が存在するが、多孔板220と基板30との間の領域に達する電子及びイオンの量は無視できる程度である。

【0047】成膜領域に噴射されるモノシランガス140と反応して酸化シリコン膜成膜に寄与するのは、酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾンである。これらの励起種及びラジカルを含む酸素ガス210は酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190を通過して成膜領域に拡散し、リング状モノシランインジェクタ210から流量5SCCMで噴射されたモノシラン140と反応して SiO_x 、 SiO_xH_y 、 SiH_y 等の酸化シリコン前駆体を形成する。そして、基板30上に酸化シリコン膜が形成される。

【0048】ここで、リング状モノシランインジェクタ200から噴射されたモノシラン140は、多孔板220の方向にも拡散して酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190にも到達するが、前述したような圧力差が多孔板220を境界として存在しているため、モノシラン140が酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190を通過して酸素ブ

ラズマ生成領域170側へ通り抜けることはほとんどない。

【0049】従って、モノシランガスが直接プラズマ分解されることがないため、水素や励起水素が成膜領域での気相反応に寄与することはほとんどなく、形成される酸化シリコン膜中に含有されるHやOHの量も低く抑えられる。

【0050】なお、図1中のHに相当する距離は100mmであり、Hは前述の距離D、D'、及びD''の2倍以上であるため、励起種及びラジカルを含む酸素ガス210や気相で形成された酸化シリコン前駆体の基板上面内分布は均一となり、基板30上に面内均質な酸化シリコン膜を形成することができる。

【0051】さらに、前述したように、多孔板220と基板30との間のプラズマ密度は非常に低くなっているため、通常の平行平板プラズマCVDに比べて基板30へのプラズマダメージは非常に低くなっている。この効果は、基板表面がMOS界面を形成するシリコン表面の場合には顕著に現れ、通常の平行平板プラズマCVDで単結晶シリコン基板上に酸化シリコン膜を形成した場合にそのMOS界面単位密度がミッドギャップ付近で $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ であるのに対し、本リモートプラズマCVDで酸化シリコン膜を形成した場合には、 $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 台の低界面単位密度となる。

【0052】なお、図1に示す装置では、酸素プラズマ生成領域170と基板30との距離を十分に離すことで基板へのプラズマダメージを抑制していたが、例えば、図4に示すように電氣的に接地された金属製のプラズマ閉じ込め電極82でプラズマを効率よく閉じ込めるようにすれば、多孔板220と基板30との間のプラズマ密度をより低減することができる。プラズマ閉じ込め電極82が効率よくプラズマを閉じ込めるためには、開口部の大きさがプラズマのデバイ長と同程度またはそれ以下となっていればよい。

【0053】さらに他の例として、図5に示すように、多孔板自体を電氣的に接地した金属製多孔板250とし、このプラズマ閉じ込め多孔板250で酸素プラズマの閉じ込めとモノシランガスのプラズマ生成領域への逆流防止の2つの役割を果たすこともできる。この構造の最大の利点は、モノシランがプラズマ生成領域へ逆流しづらい構造であっても、装置構造が複雑化しないことである。プラズマ閉じ込め多孔板250の構造は、図2に示す多孔板220の構造と同様であるが、酸素ラジカル通過孔191はプラズマ閉じ込めの役割を果たすために酸素プラズマのデバイ長程度以下のサイズであることが必要である。

【0054】図2に示す例において、開口径2mm、長さ10mmの円筒状酸素ラジカル通過孔（貫通孔）190が100個開口された400mm×500mmの多孔

板を用い、酸素ガスを1SLM供給して基板領域を30Paに調節したところ、プラズマ生成領域が58Paになることを説明したが、この多孔板を金属製として、電氣的に接地して、図5に示すプラズマ閉じ込め多孔板250とすれば、酸素ガス1SLM、基板領域30Paの条件で、酸素プラズマ生成領域172の圧力は同様に58Pa程度となる。ここで、13.56MHzの高周波電力を1W/cm²程度印加してプラズマ密度10⁸cm⁻³、電子温度10⁶K程度の酸素プラズマを生成した場合のデバイ長は2mm程度であり、酸素ラジカル通過孔の径と同程度となる。従って、開口径2mm、長さ10mmの円筒状酸素ラジカル通過孔（貫通孔）191が、100個開口された4.00mm×5.00mmの多孔板をプラズマ閉じ込め多孔板250とすれば、モノシランガスの逆流防止とプラズマの効果的な閉じ込めを両立することができる。

【0055】さらに他の例について、図6乃至図10を参照して詳細に説明する。

【0056】図6に示すリモートプラズマCVD装置と図5に示す装置の差異は、リング状モノシランインジェクタ210がなく、図5に示すプラズマ閉じ込め多孔板250がモノシランインジェクタの役割をも果たしている点である。つまり、図6に示すリモートプラズマCVD装置では、プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260が備えられていることになる。

【0057】このような構成とすることによって、さらに装置構造を単純化することができるとともに、モノシランガス供給の基板面上分布の均一化も実現することができる。

【0058】ここで、プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260の構造を図7の断面図及び図8の平面図に示す。酸素ラジカル通過孔（貫通孔）192の構造については、前述のプラズマ閉じ込め多孔板250の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）191と同様である。プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260の特徴は、図7に示すように、プラズマ閉じ込め多孔板上部板310とプラズマ閉じ込め多孔板下部板320とで挟まれた空間が中空部360となっており、この中空部360が酸素ラジカル通過孔（貫通孔）192とは独立した構造になっていることである。

【0059】図示の例では、この中空部360にモノシラン140が供給され、成膜領域に向かって開口されたモノシラン噴射孔121を通してモノシラン140が供給される。図7には示されていないが、中空部360は繋がった空間であり、モノシランガスはこの中空部360で面内均一化され、図8に示すようにプラズマ閉じ込め多孔板下部板320に面内均一に開口されたモノシラン噴射孔121から成膜領域へ供給されることになる。

【0060】さらに、モノシランガスを基板面直上で均一に供給するためには、プラズマ閉じ込め多孔板兼モノ

シランインジェクタ260の中空部360内に、モノシランガスを均一化するための拡散板を設ければよい。

【0061】図9及び図10に拡散板を設置した例を示す。図6に示すように、モノシランガスはチャンバ外部からプラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260の側面を通して供給されるため、中空部360内で均一化する前にモノシラン噴射孔121から噴射されやすくなっている。これを防ぐために、図9に示すように、中空部360に第1の拡散板330と第2の拡散板340とを設け、モノシランガスが均一化する時間を与えるとともに、拡散板に開口するモノシラン拡散通過孔350の開口分布を、図10に示すように面内均一とせず、中空部で均一化しやすい開口分布を持たせる。これによって、最終的にモノシラン噴射孔121から噴射される時点で面内均一な噴射を可能にする。なお、拡散板の数は2枚に限らず、1枚でも3枚以上でもよい。

【0062】このように、プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260にモノシランのプラズマ生成領域への逆流防止、プラズマ閉じ込め、及びモノシラン噴射の3つの役割を持たせることで、単純な構造のリモートプラズマCVD装置を用いた高品質な酸化シリコン膜の形成が可能となる。

【0063】次に図11を参照して、リモートプラズマCVD装置の他の例について説明する。図11の装置構造は図6に示すプラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260を有するリモートプラズマCVD装置と類似しており、異なるのは、真空排気系が1系統でなく、2系統を有していることである。前述したように、真空排気系を基板側に1系統有する装置では、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）の開口径と孔長が決まると、ある酸素ガス流量とある成膜領域圧力に対して、プラズマ生成領域の圧力は決まった値を持ってしまう。従って、プロセス条件の自由度が制限されてしまう。

【0064】さらに、本発明では、多孔板の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）の開口率や開口径を制限し、加えて、多孔板とチャンバ内壁との隙間を無くすことによって多孔板を境に、（被堆積基板側の圧力）>（プラズマ生成領域側の圧力）の関係をもつ圧力差を生じやすくさせている。この圧力差は、被堆積基板側圧力一定の下では、開口径を狭める程、孔長を長くする程、またプラズマ生成領域に供給する酸素の流量を多くするほど大きくなり、プラズマ生成領域側の圧力が高くなる。

【0065】プラズマ生成領域側の圧力が過剰に高くなると、酸素プラズマ生成領域174中の平均自由行程が短くなるため、酸素プラズマ生成領域174中で生成した酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾンの内、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素原子が消滅しやすくなり、成膜領域に供給される酸素ガス（ラジカル、励起種を含む）中で酸素分子の比率が高くなってしまふ。

【0066】酸素分子の比率の多い酸素ガス（ラジカル、励起種を含む）とモノシランの反応では、 SiO_x の重合生成物が形成されやすく、低密度の酸化シリコン膜となるだけでなく、膜成長表面での酸化も抑制されるため、 SiH_x や SiH_xO_y 等が膜中に残されやすく、HやOHを多く含む、低品質の酸化シリコン膜が形成されてしまう。

【0067】従って、図11に示す例では、酸素プラズマ生成領域の圧力値選択の自由度制限、並びに酸素プラズマ生成領域の圧力過剰上昇という点を解消するため、10 多孔板を境界とした酸素プラズマ生成領域側及び多孔板を境とした被堆積基板側の両方に、独立した真空排気系を備えている。

【0068】例えば、図11における酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261が400mm×500mmの大きさであり、この多孔板中に開口径2mm、孔長10mmの円筒形の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）193が100個開口されているとする。ここで、流量1SLMの酸素ガスを酸素プラズマ生成領域に供給し、20 基板30が設置されている成膜領域の圧力が30Paになるように第2の真空排気280側で排気制御をし、第1の真空排気270を行わないとき、多孔板を境にして酸素プラズマ生成領域174側の圧力は58Pa程度になる。

【0069】ここでさらに、酸素ガスの流量を3SLMとし、成膜領域の圧力が60Paになるように第2の真空排気280側の排気制御を行い、第1の真空排気270を行わないと、多孔板を境にして酸素プラズマ生成領域174側の圧力は100Paを超えてしまう。酸素プラズマ生成領域174が100Paを超えると、プラズマ領域で生成された酸素原子イオン、酸素分子イオン、電子、酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾン等の内、衝突によって消滅しやすい種が減少し、成膜領域に供給される酸素ガス（ラジカル、励起種を含む）中での励起酸素原子、励起酸素分子、酸素原子の比率が低くなり、酸素分子の比率は高くなって、上述したような問題が発生する。

【0070】しかしながら、ここで、第1の真空排気270を作動させ、第2の真空排気と独立の制御を行うと、酸素プラズマ生成領域174の圧力を所望の圧力に調整することができる。例えば、上記の例で、酸素プラズマ生成領域ガスの流量を3SLM、成膜領域の圧力を58Paとした場合でも、酸素プラズマ生成領域174の圧力を70Pa等任意の圧力に設定することができる。

【0071】酸化シリコン膜の形成方法は以下の通り。ここでは開口径2mmで長さ10mmの円筒形酸素ラジカル通過孔（貫通孔）が100個開口された400mm×500mmの多孔板を用いた例を示す。酸素ラジカル通過孔（貫通孔）同士の距離は、図2のDに相当する距

離が約46mm、D'に相当する距離が約36mm、D'に相当する距離が約58mmである。真空排気されたCVDチャンバー内に、高周波印加電極11に設けられたガス供給孔を通して2SLMの流量で酸素ガス150を導入して、基板30付近の圧力が60Paになるように第2の真空排気280の排気能力を制御する。

【0072】第1の真空排気270を用いない場合、酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261を境にして酸素プラズマ生成領域側の圧力は約90Paとなるが、第1の真空排気270を用いて、酸素プラズマ生成領域側の圧力を70Paに制御する。

【0073】次に、高周波印加電極11に高周波電力を印加して酸素プラズマを形成する。酸素プラズマ生成領域174は電気的に接地された酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260によって高周波印加電極11との間に効率よく閉じ込められているため、酸素プラズマ生成領域174中での酸素プラズマ密度が $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度であるのに対し、酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261と基板30の間の領域の酸素プラズマ密度は 10^4 cm^{-3} 以下となっている。即ち、酸素プラズマ生成領域174中では電子、酸素原子イオン、酸素分子イオン、酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾン等が存在するが、酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261と基板30の間の領域に達する電子及びイオンの量は無視できる程度である。

【0074】従って、成膜領域に噴射されるモノシランガス140と反応して酸化シリコン膜成膜に寄与するのは、酸素原子、励起酸素原子、励起酸素分子、酸素分子、及びオゾンである。これらの励起種及びラジカルを含む酸素ガス210は酸素ラジカル通過孔（貫通孔）193を通して成膜領域に拡散し、酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261から流量5SCCMで噴射されたモノシラン140と反応して SiO_x 、 SiO_xH_y 、 SiH_y 等の酸化シリコン前駆体を形成して、基板30上に酸化シリコン膜が形成されることになる。

【0075】ここで、酸素プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ261から噴射されたモノシラン140は、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）193付近にも到達するが、多孔板を境にして酸素プラズマ生成領域側と成膜領域側では約10Paの圧力差が存在しているため、酸素ラジカル通過孔（貫通孔）193を通して酸素プラズマ生成領域174側へ通り抜けることはほとんどない。モノシランガスが直接酸素プラズマ分解されることが抑制されているため、酸素や励起酸素が成膜領域での気相反応に寄与することはほとんどなく、形成される酸化シリコン膜中に含有されるHやOHの量も低く抑えられる。

【0076】なお、図11中のHに相当する距離は100mmであり、前述の距離D、D'およびD''の2倍以

上であるため、励起種およびラジカルを含む酸素ガス210や気相で形成された酸化シリコン前駆体の基板上面内分布は均一となり、基板30上に面内均質な酸化シリコン膜を形成することができる。モノシランガス140の基板面直上分布をさらに均一にする場合には、図10に示すプラズマ閉じ込め多孔板250のように、その中空部に拡散板を設ければよい。さらに、前述したように、プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ260と基板30の間のプラズマ密度は非常に低くなっているため、通常の平行平板プラズマCVDに比べて基板30へのプラズマダメージは非常に低くなっている。この効果は、基板表面がMOS界面を形成するシリコン表面の場合には顕著に現れ、通常の平行平板プラズマCVDで単結晶シリコン基板上に酸化シリコン膜を形成した場合にそのMOS界面単位密度がミッドギャップ付近で $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ であるのに対し、本リモートプラズマCVDで酸化シリコン膜を形成した場合には $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 台の低界面単位密度となる。

【0077】以上の例においては、400mm×500mmの多孔板、または400mm×500mmのプラズマ閉じ込め多孔板、または400mm×500mmのプラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタに、開口径2mm、孔長10mmの円筒形の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）を100個開口した例を中心に説明したが、開口径、開口長、開口数、多孔板形状などは本発明の特許請求の範囲に記載された範囲であれば、どのような値をとっても良い。例えば、400mm×500mmのプラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタに、開口径2mm、孔長5mmの円筒形の酸素ラジカル通過孔（貫通孔）を1500個開口したような構成でもよく、この構成では、流量1SLMの酸素ガスをプラズマ生成領域に供給し、成膜領域の圧力が30Paになるように真空排気制御をすると、多孔板を境に酸素プラズマ生成領域側の圧力は約38Pa程度になる。

【0078】また以上の例において、モノシランの供給手法として、リング状モノシランインジェクタ及び面型の多孔板兼モノシランインジェクタを用いた例について説明したが、棒状インジェクタ、格子状インジェクタ、直線状インジェクタ等、どのような形態であってもよい。

【0079】また、以上の例では、モノシランと酸素を用いた酸化シリコン膜形成を例にあげたが、モノシランの代わりにジシラン等の高次シランやTEOS（Tetraethoxysilane）等の液体Si原料等でもよく、酸素のかわりに亜酸化窒素、酸化窒素等を用いてもよい。

【0080】さらに、酸化シリコン膜形成を例にあげてCVD成膜の説明を行ったが、モノシランとアンモニアの反応による窒化シリコン膜形成、モノシランと希ガ

スまたは水素との反応による非晶窒素シリコン膜形成など、他の材料系のプラズマCVD成膜に関しても同様の効果を得ることができる。

【0081】加えて、以上の例においては、誘導結合リモートプラズマCVD装置及び平行平板リモートプラズマCVD装置を用いた例について説明したが、プラズマ生成領域と基板処理領域とが空間的に隔離または分離されているプラズマCVD装置であれば、マイクロ波プラズマ、電子サイクロトロン共鳴プラズマ、誘導結合プラズマ、ヘリコン波プラズマを用いたプラズマCVD装置等、どのような形態の装置であっても適用される。

【0082】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、リモートプラズマCVDにおいて、プラズマ分解を意図しないガスがプラズマ生成領域に逆流するのを抑制又は防止することができ、プラズマ分解を意図しないガスがプラズマ分解されることによって生ずる不純物が、形成する膜に含まれるのを抑制又は防止することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるリモートプラズマCVD装置の第1の例を示す側面概略図である。

【図2】図1に示すリモートプラズマCVD装置で用いられる多孔板を示す平面概略図である。

【図3】酸素ガス（ラジカル、励起種を含む）の基板上面内分布を示す図である。

【図4】本発明によるリモートプラズマCVD装置の第2の例を示す側面概略図である。

【図5】本発明によるリモートプラズマCVD装置の第3の例を示す側面概略図である。

【図6】本発明によるリモートプラズマCVD装置の第4の例を示す側面概略図である。

【図7】中空構造のプラズマ閉じ込め多孔板の一例を示す側面概略図である。

【図8】図7に示す多孔板の上部板及び下部板を示す平面概略図である。

【図9】中空構造のプラズマ閉じ込め多孔板の他の例を示す側面概略図である。

【図10】図9に示す多孔板の第1及び第2の拡散板を示す平面概略図である。

【図11】本発明によるリモートプラズマCVD装置の第5の例を示す側面概略図である。

【図12】従来の平行平板リモートプラズマCVD装置の一例を示す側面概略図である。

【図13】図12に示すCVD装置の動作を示す側面概略図である。

【図14】従来の平行平板リモートプラズマCVD装置の他の例を示す側面概略図である。

【符号の説明】

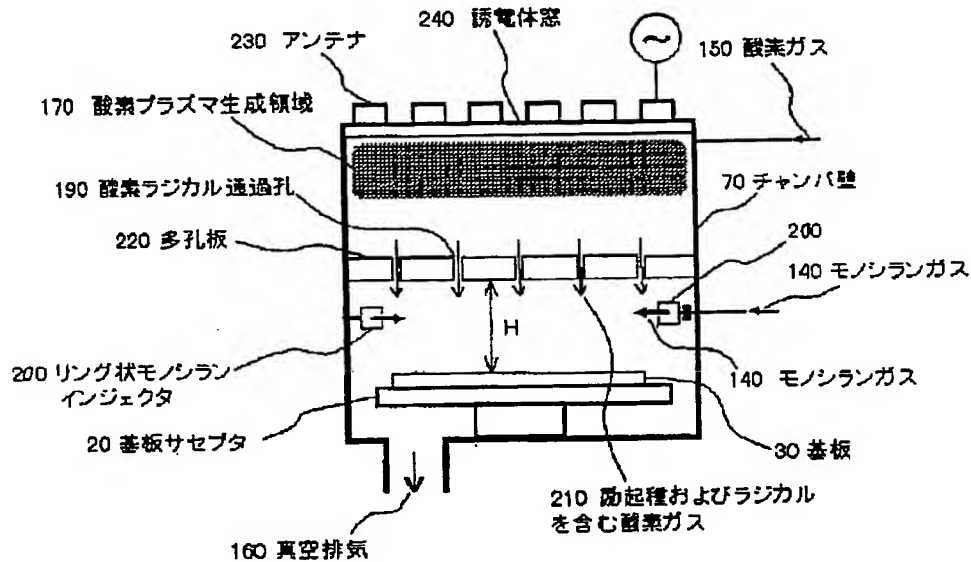
10、11 高周波印加電極

- 20 基板サセプタ
 30 基板
 40 励起種及びラジカルを含む第1のガス
 50、51 ラジカル通過孔
 60 プラズマ
 70 チャンバ壁
 80、81、82 プラズマ閉じ込め電極
 90 中性ガス噴射孔
 100 第1のガス
 110 第2のガス
 120、121 モノシラン噴射孔
 130、131、132、133 逆流するモノシラン
 140 モノシランガス
 150 酸素ガス
 160 真空排気
 170、171、172、173、174 酸素プラズマ生成領域
 180 モノシランインジェクタ
 190、191、192、193 酸素ラジカル通過孔*

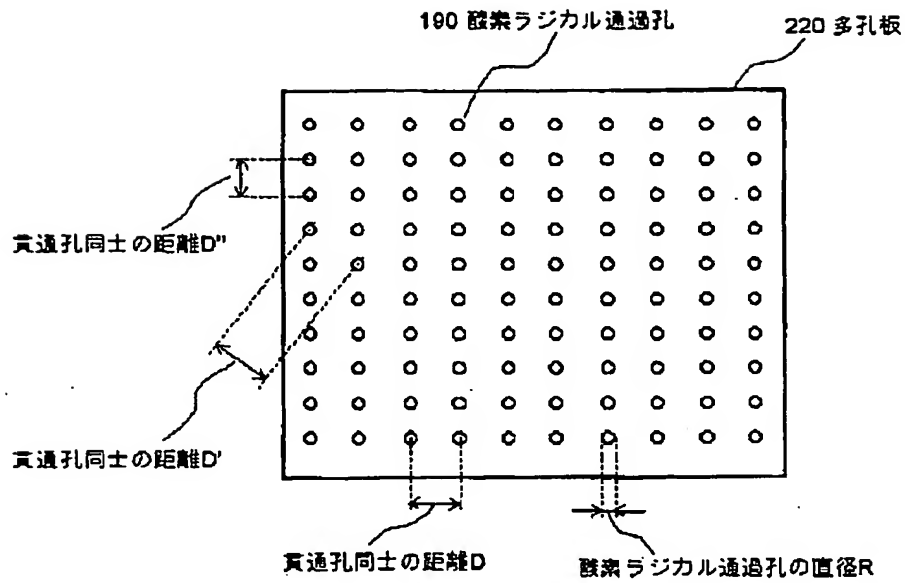
* (貫通孔)

- 200 リング状モノシランインジェクタ
 210 励起種及びラジカルを含む酸素ガス
 220 多孔板
 230 アンテナ
 240 誘電体窓
 250 プラズマ閉じ込め多孔板
 260、261 プラズマ閉じ込め多孔板兼モノシランインジェクタ
 270 第1の真空排気
 280 第2の真空排気
 290 第1の真空計
 300 第2の真空計
 310 プラズマ閉じ込め多孔板上部板
 320 プラズマ閉じ込め多孔板下部板
 330 第1の拡散板
 340 第2の拡散板
 350 モノシラン拡散通過孔
 360 中空部

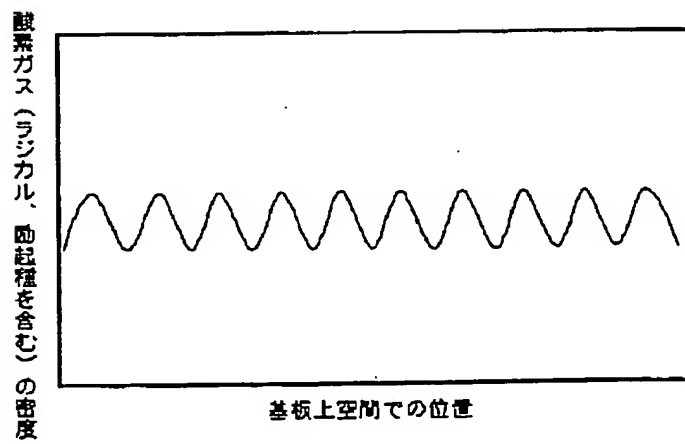
【図1】



【図2】



【図3】



171 酸素プラズマ生成領域

82 プラズマ閉じ込め電極

220 多孔板

200 リング状モノシランインジェクタ

20 基板サセプタ

160 真空排気

150 酸素ガス

11 高周波印加電極

190 酸素ラジカル通過孔

140 モノシランガス

30 基板

210 励起種およびラジカルを含む酸素ガス

172 酸素プラズマ生成領域

250 プラズマ閉じ込め多孔板

200 リング状モノシランインジェクタ

20 基板サセプタ

160 真空排気

11 高周波印加電極

150 酸素ガス

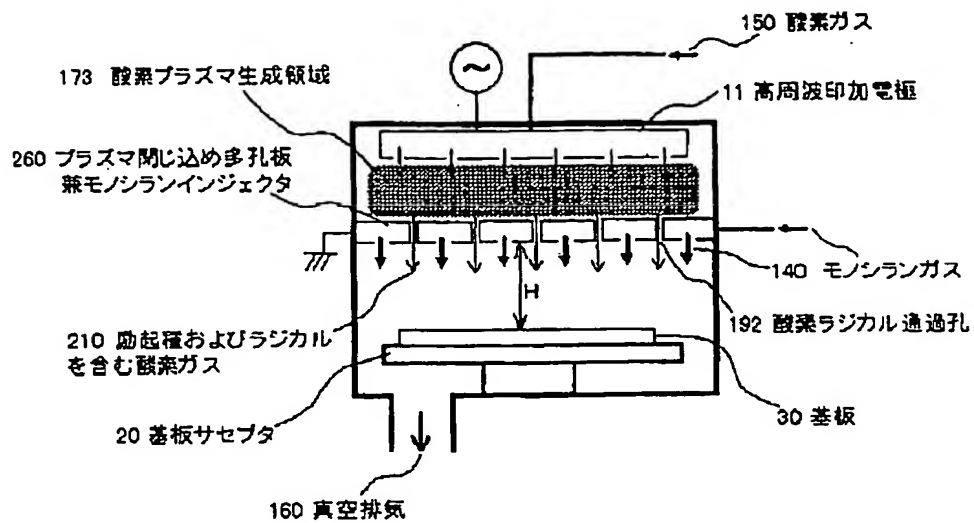
191 酸素ラジカル通過孔

140 モノシランガス

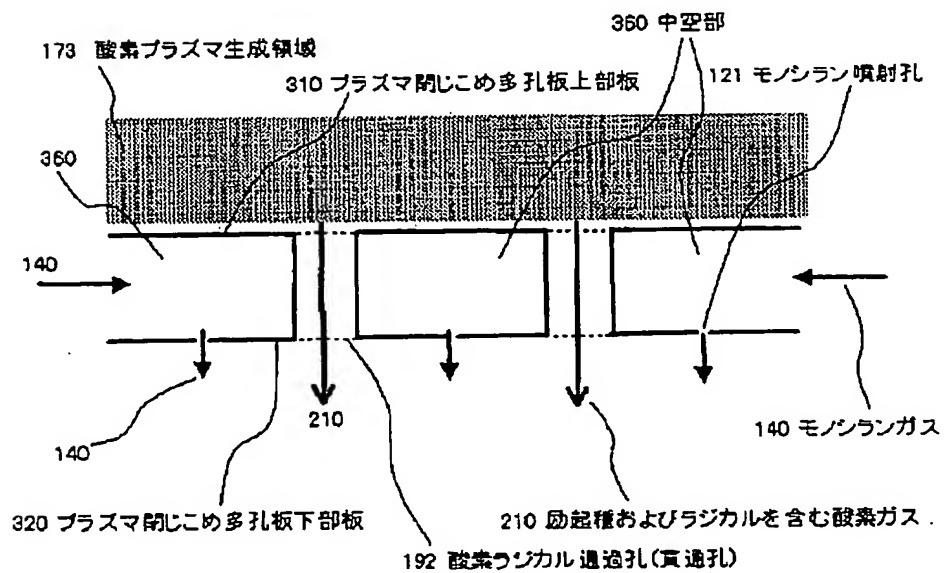
30 基板

210 励起種およびラジカルを含む酸素ガス

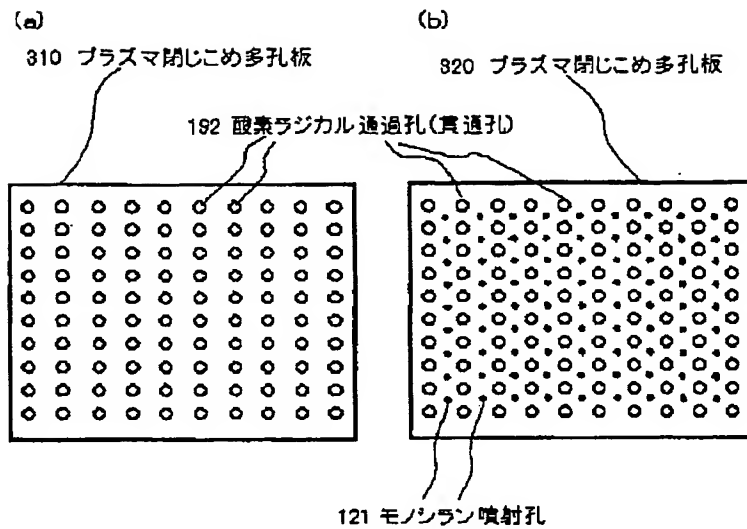
【図6】



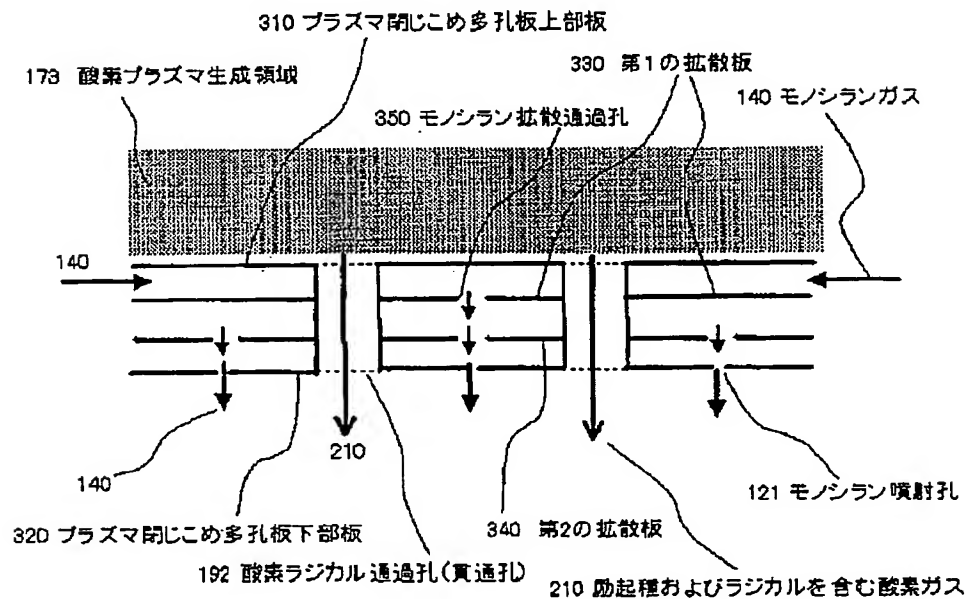
【図7】



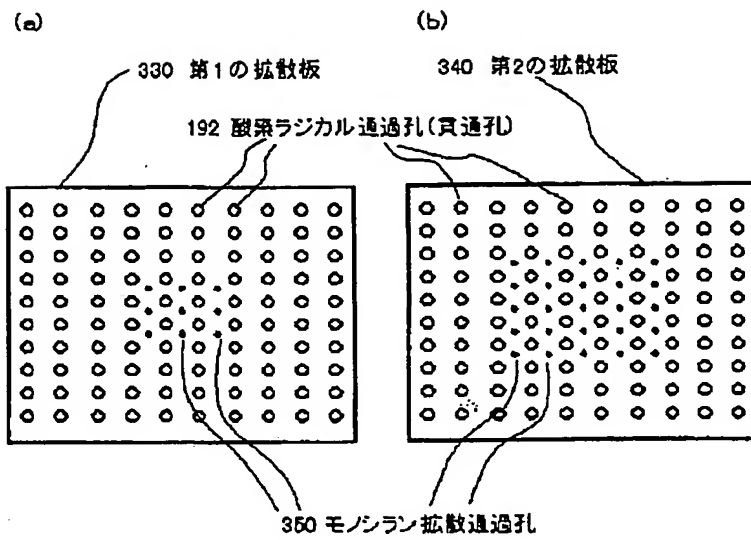
【図8】



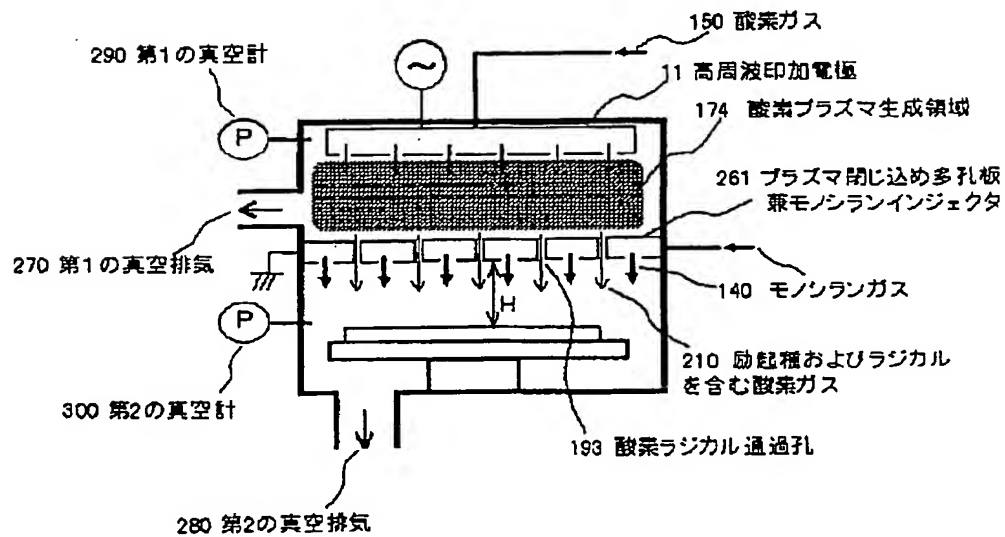
【図9】



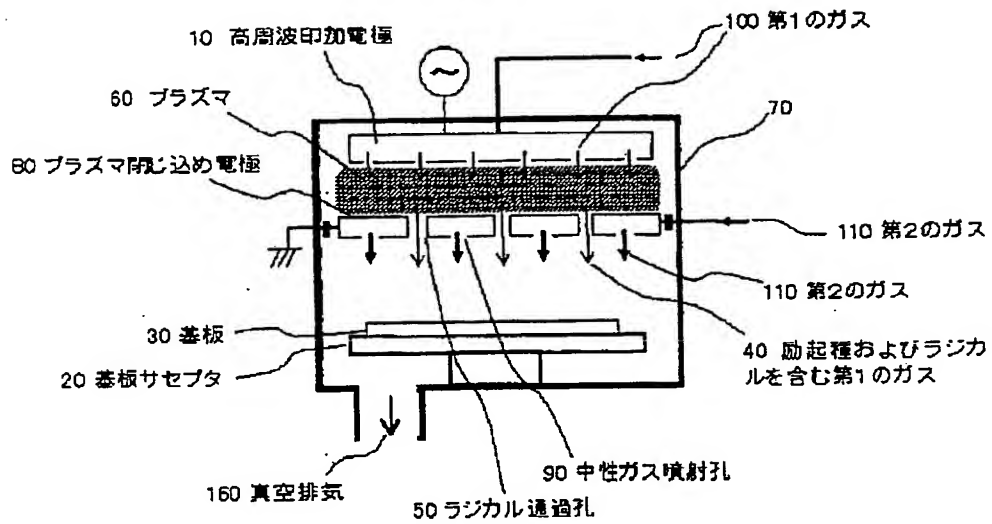
【図10】



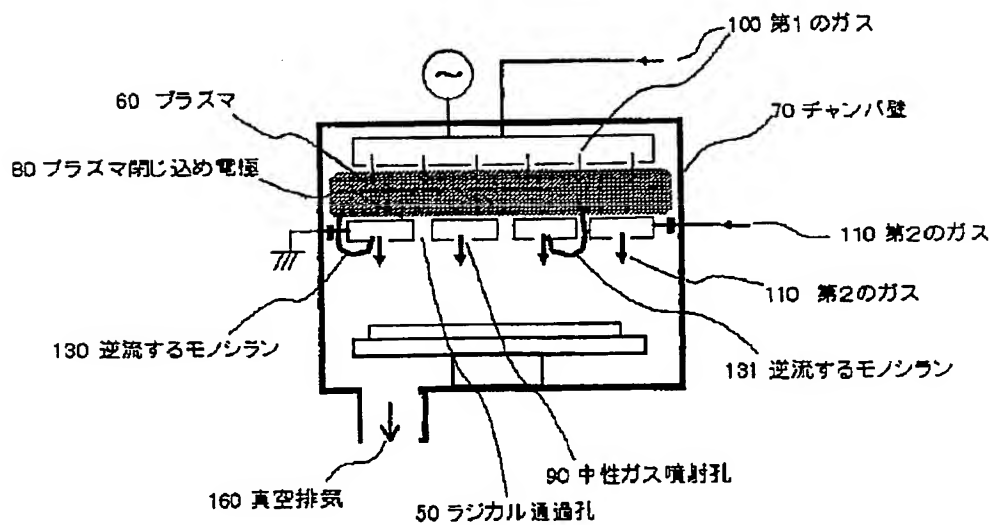
【図11】



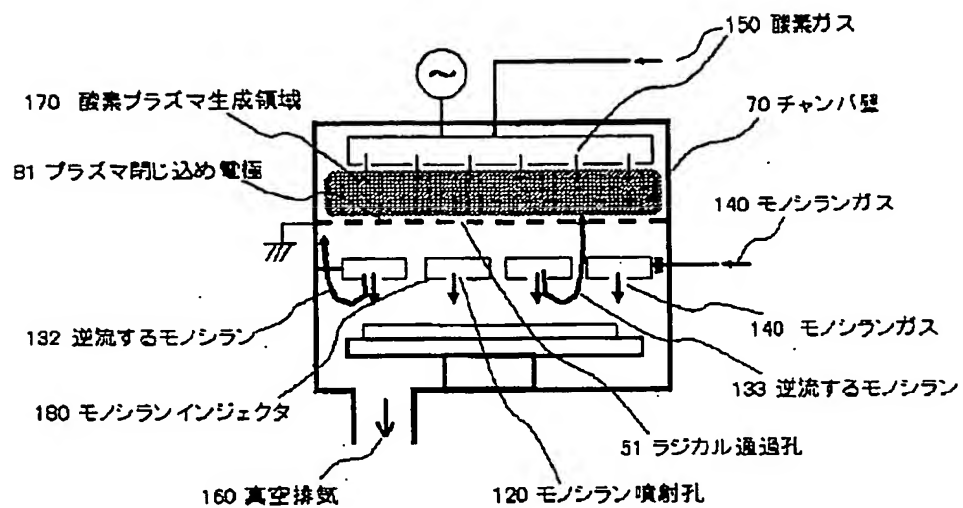
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 野上 裕
東京都府中市四谷五丁目8番1号 アネル
パ株式会社内

F ターム(参考) 5F045 AA08 AA09 AA10 AB04 AB32
AB33 AC01 AC09 AC11 AC12
AE23 DP02 DP03 EB02 EC05
EE17 EE20 EF02 EF04 EF05
EH02 EH03 EH05 EH06 EH11
EH12 EH17 EH18 GB06

THIS PAGE BLANK (USPTO)